

자연의 수량화

.....
온도, 길이, 질량, 시간의 측정





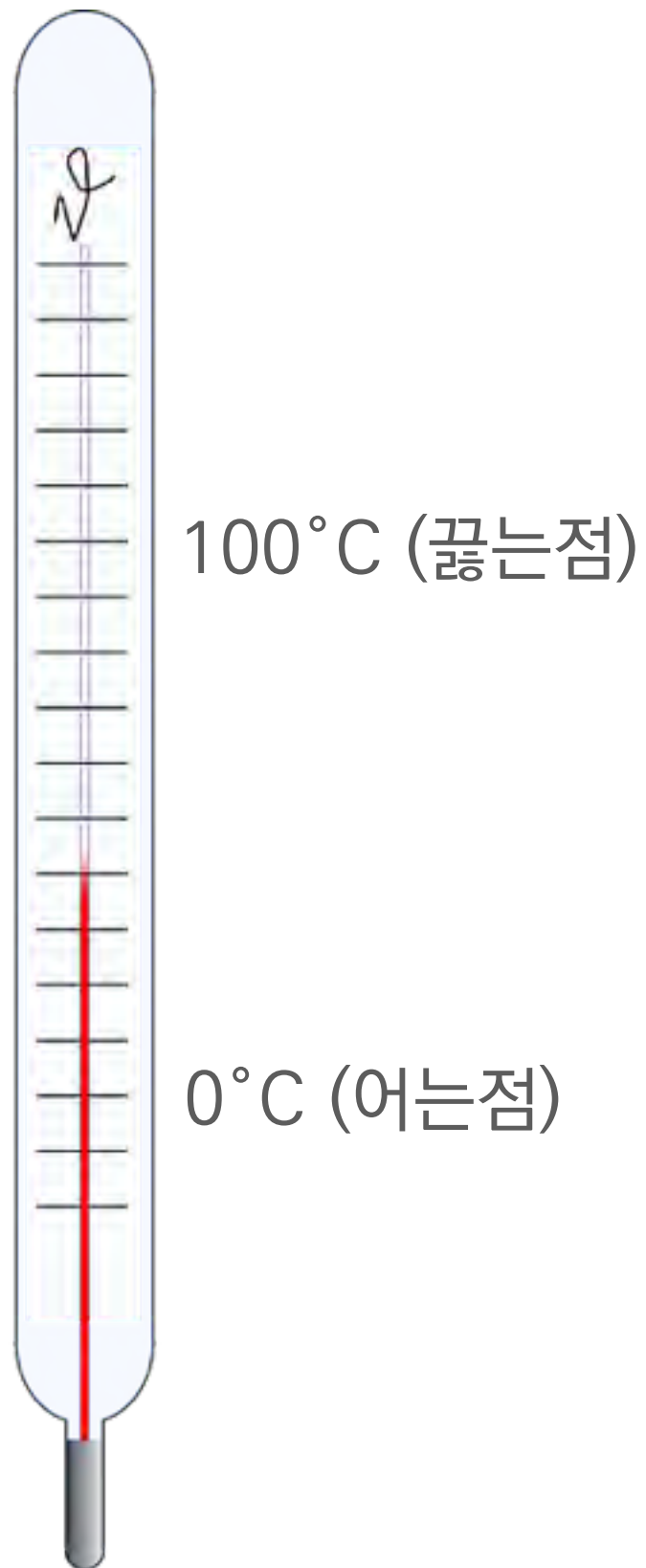
관찰 대신 측정?

.....

- ▶ 착시 때문에 관찰을 신뢰하지 못 하겠다면 '자'로 측정을 해보면 되지 않을까?
- ▶ 측정을 통해 경험을 평가한다는 것 자체가 '관찰의 인식론적 한계'를 어느 정도 훌륭하게 극복하고 있다는 뜻.
- ▶ 하지만 그 '측정'은 어떻게 정당화되며, 어떻게 향상될 수 있는가?

온도의 기준

어는점과 끓는점 사이를 100등분
이 기준의 근거는 무엇일까?



여러 과학자들이 사용한 고정점

.....

인물	연도	고정점
치멘토 아카데미	1640년경	겨울철 극한 - 여름의 극서

어떤 현상이 고정된 온도에서 일어난다는 것을
온도계 없이 어떻게 알 수 있는가?

다니엘 파렌하이트 (화씨, 華氏)	1720년경	소금/물/얼음 혼합물 (0) - 체온 (98)
안데르스 셀시우스 (섭씨, 攝氏)	1741년	얼음의 녹는점 (0) - 물의 끓는점 (100)

고정점



정당화

온도경(눈금 없는 온도계)



정당화

신체 감각



정당화

?

뜨거운 물에
담갔던 손



얼음물에
담갔던 손

감각을 우선적인 기준으로 수용하는 이유는
그것이 다른 기준들에 앞서기 때문일 뿐,
다른 기준들보다 더 강한 정당성을 가지기
때문이 아니다.

후속 기준

진보의 요구

개선



정당화

존중의 원리

선행 기준

선행 기준과 후속 기준 사이의 대결

- ▶ 신체 감각 vs. 온도경
- ▶ 신체 감각(시각) vs. 자

0°C와 100°C 사이

.....

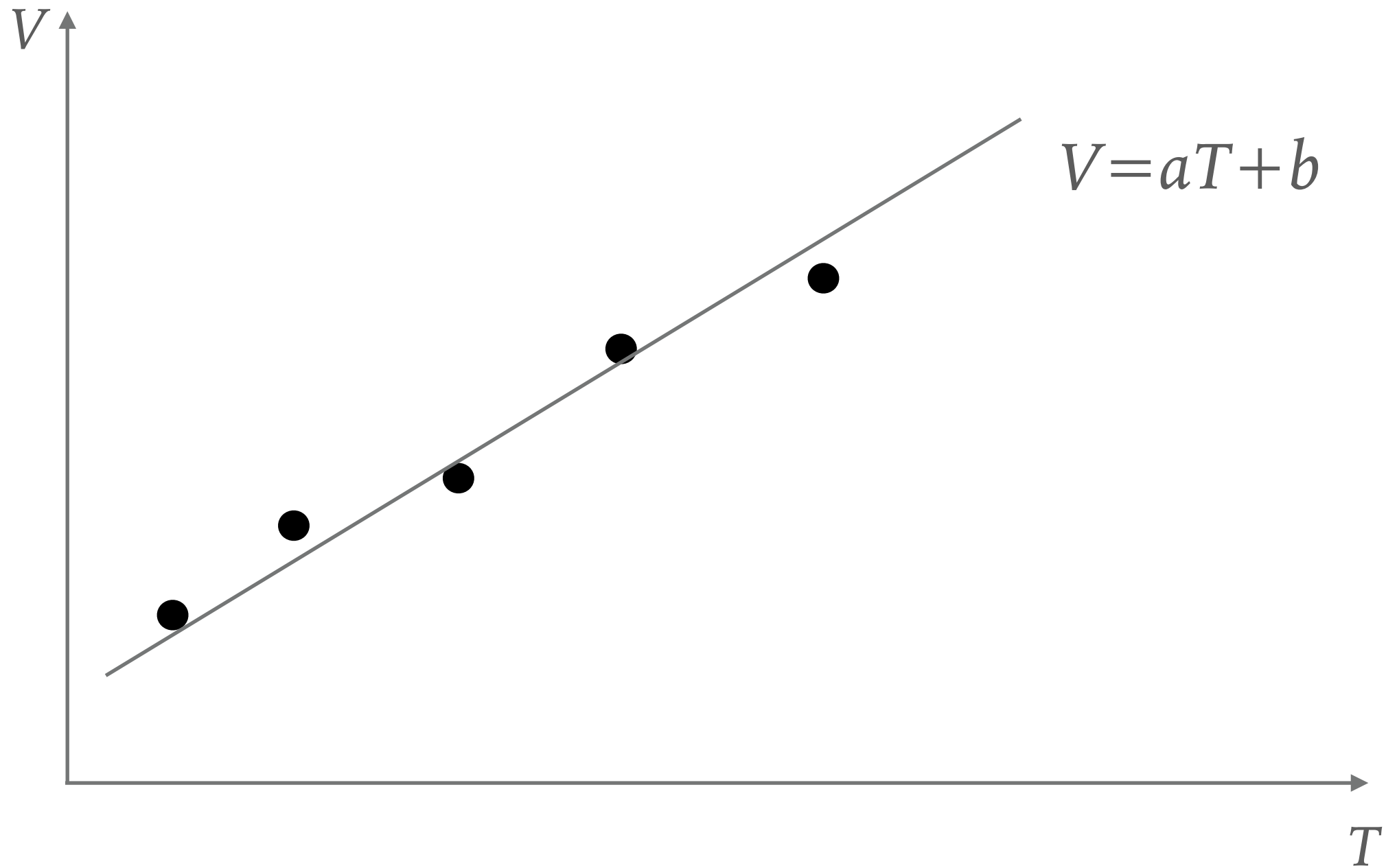
수은	알코올	물
0	0	0
25	22	5
50	44	26
75	70	57
100	100	100

법칙에 의거한 측정의 문제

1. 우리는 X (온도)를 측정하고자 하지만,
2. X 는 직접 관찰할 수 없는 대신 직접 관찰할 수 있는 Y (액체의 부피)를 통해서만 추론될 수 있다.
3. 이러한 추론을 위해서는 $X=f(Y)$ 형태의 법칙을 알아야 한다.
4. 그러나 f 는 경험적으로 발견되거나 시험될 수 없다. 왜냐하면 이를 위해서는 Y 뿐 아니라 지금 측정하고자 하는 미지의 변수 X 도 알고 있어야 하기 때문이다.

온도를 온도계에 넣은 액체의 부피를 통해 측정하고자 한다면, 액체의 부피와 온도 사이의 법칙을 알아야 하지만, 그 법칙은 아직 알려지지 않으며, 거꾸로 그 법칙을 발견하고 검사하기 위해서는 온도를 먼저 알고 있어야 한다.

불가능한 시험



드뤼릭의 혼합법

.....
0℃의 물과 100℃의 물을 (100-x):x
로 섞으면 x℃가 될 것이라는 가정
을 이용해, 이 계산된 이론치 x를
온도계 속 액체의 부피 관측치 y와
비교하여 $y=f(x)$ 구함



0℃

100-x



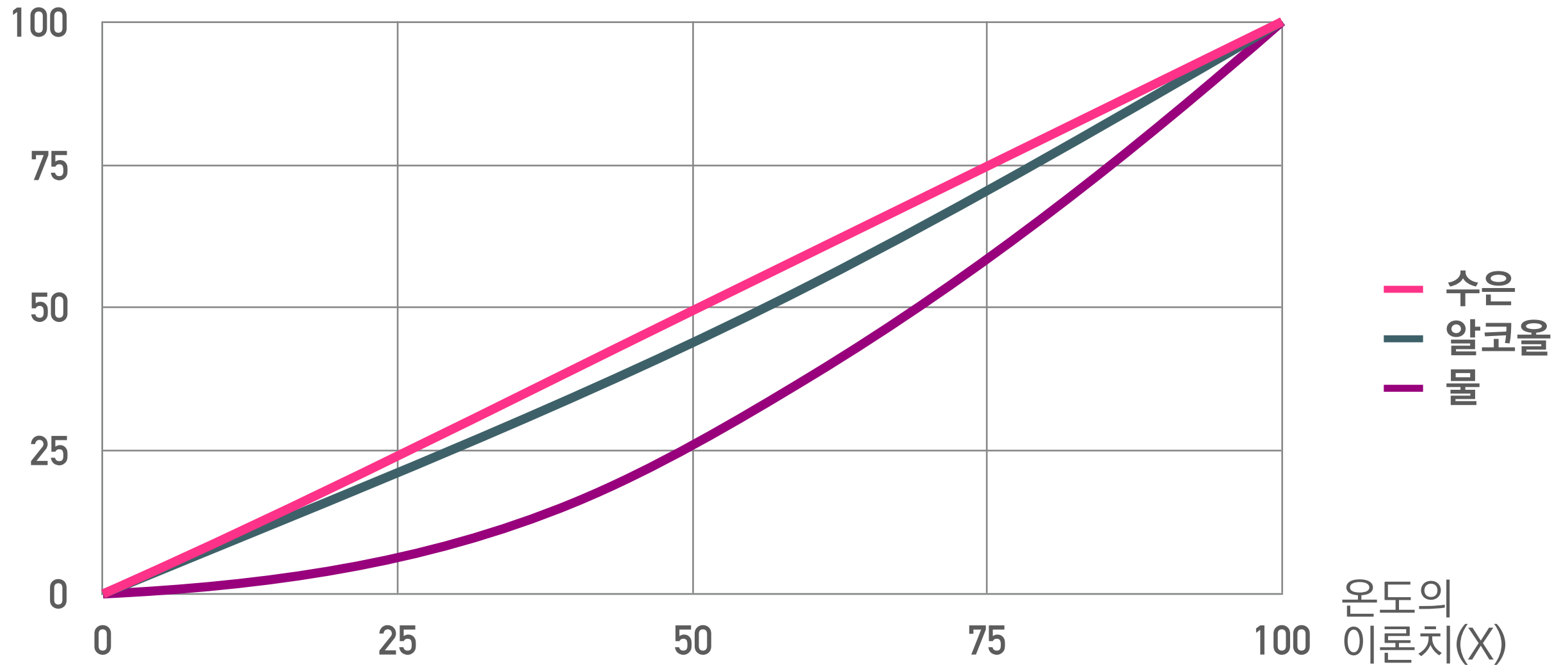
100℃

x

:

드릭의 혼합법에 따른 실험 결과

액체의 부피(Y)

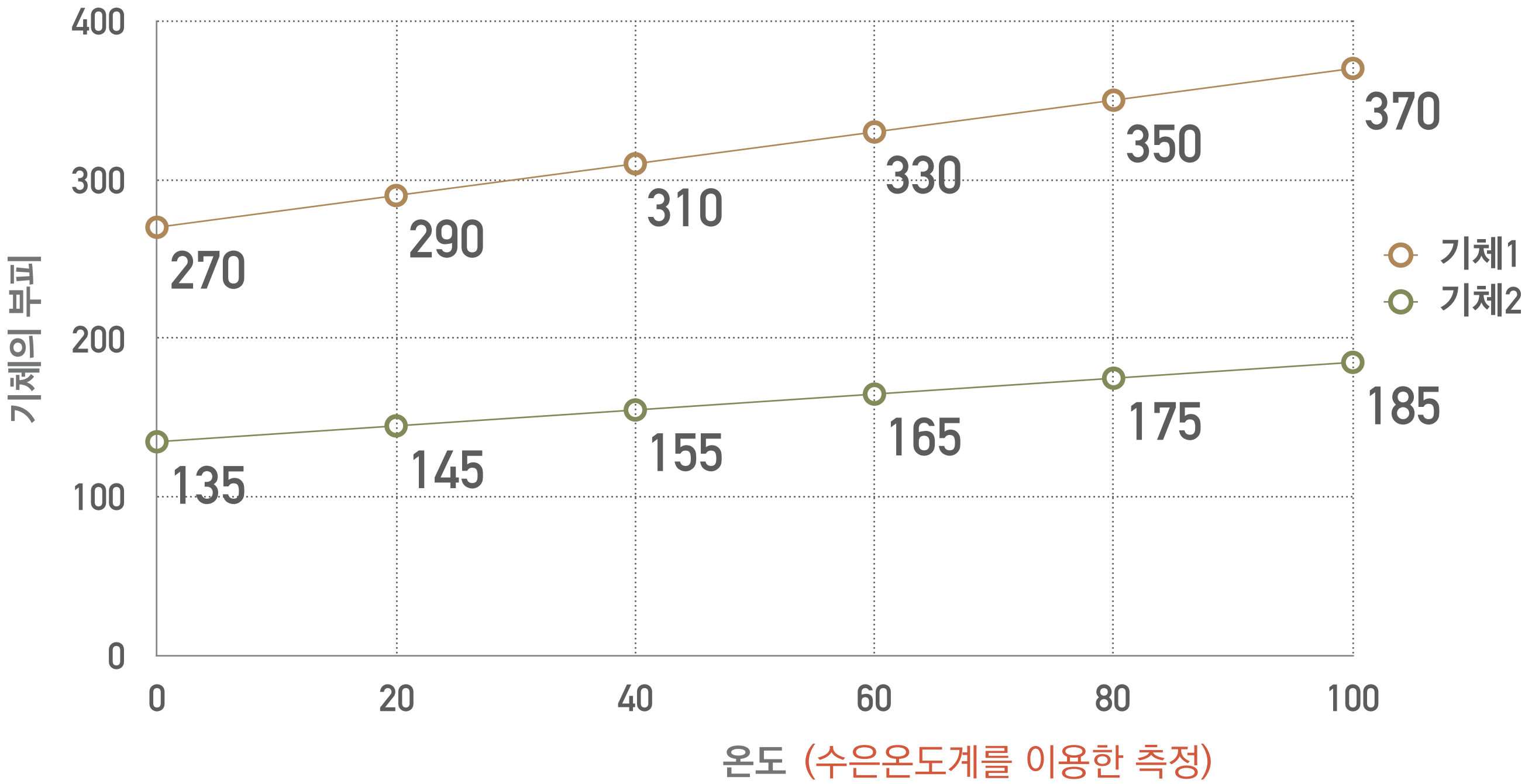


혼합법 이면에 숨어있는 가정

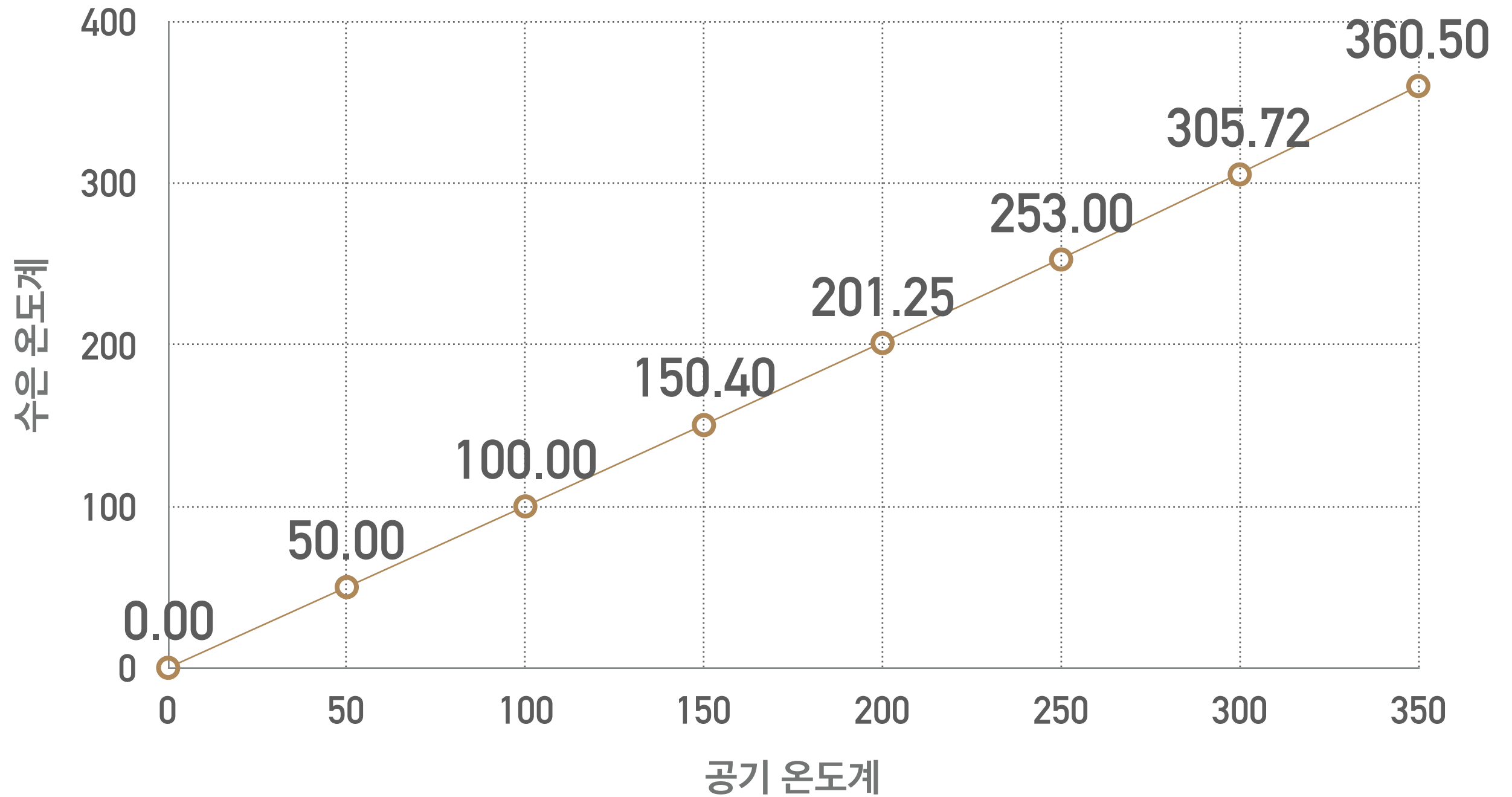
물의 동일한 온도 변화마다 동일한 양의 열이 필요하다
즉, 물의 비열이 온도와 상관없이 일정하다

수은 온도계에서 공기 온도계로

온도계의 새로운 후보 “기체”



공기 온도계 vs. 수은 온도계



빅토르 르뇨의 비교동등성 시험

같은 온도로 보이는 상황에서 같은 종류의 온도계가 같은 눈금을 가리키는지 확인!

비교동등성 시험 : 수은

탈락

[표 2.4] 다른 유형의 유리로 제작된 수은 온도계들에 대한 르노의 비교

공기 온도계	수은, '슈아자-르-후아' 크리스탈	수은, 보통 유리 (5번 온도계) ^a	수은, 녹색 유리 (10번 온도계)	수은, 스웨덴 유리 (11번 온도계)
100 (°C)	100.00	100.00	100.00	100.00
150	150.40	149.80	150.30	150.15
200	201.25	199.70	200.80	200.50
250	253.00	250.05	251.85	251.44
300	305.72	301.08	—	—
350	360.50	354.00	—	—

출처: Regnault 1847, 239의 자료를 표에 맞춰 개작한 것이다.

비교동등성 시험 : 공기



[표 2.5] 다른 공기 밀도로 채워진 공기 온도계들에 대한 르노의 비교

공기 온도계 A		공기 온도계 A'		온도 차이 (A - A')
압력 (mmHg)	온도 기록 (°C)	압력 (mmHg)	온도 기록 (°C)	
762.75	0	583.07	0	0
1,027.01	95.57	782.21	95.57	0.00
1,192.91	155.99	911.78	155.82	+0.17
1,346.99	212.25	1,030.48	221.27	-0.02
1,421.77	239.17	1,086.76	239.21	-0.04
1,534.17	281.07	1,173.28	280.85	+0.22
1,696.86	339.68	1,296.72	339.39	+0.29

출처: Regnault 1847, 181의 자료를 표에 맞춰 개작한 것이다.

빅토르 르노의 결론

- ▶ 수은 온도계는 시험 탈락 : 사용된 유리의 종류에 따라 (심지어 같은 종류의 유리를 사용한 온도계 사이에서도) 200°C 너머에서 상당한 차이를 보임. 이는 하나의 ‘진정한 수은 온도계’라는 것이 없음을 말해줌. 200°C 너머에서 서로 다른 수은 온도계로 잰 온도값들은 같은 온도로 간주될 수 없음. 즉 수은 온도계들은 상호 비교가 가능한 측정장치가 아니다.
- ▶ 공기 온도계는 시험 통과 : 유리의 종류에 따라 차이가 날 위험이 없으며, 다양한 밀도의 공기를 집어넣고 비교해도 그 눈금이 달라지지 않음. 또한 대부분의 단일기체 온도계들도 공기 온도계와 동일하게 작동(황산기체 온도계는 예외). 따라서 공기 온도계들은 상호 비교가능한 측정장치로서, 서로 다른 다른 공기 온도계에서 측정된 온도값은 같은 온도로 간주될 수 있음.

비교동등성 시험의 유일한 가정 : 단일값의 원리

- ▶ 자연의 물리량은 주어진 상황에서 단 하나의 값을 가질 수 있다.
- ▶ “단일값의 원리”는 무엇에 의해 정당화될 수 있는가?
- ▶ 엄격한 경험주의의 근본적 한계
- ▶ 최소주의(minimalism) 전략의 장점은?

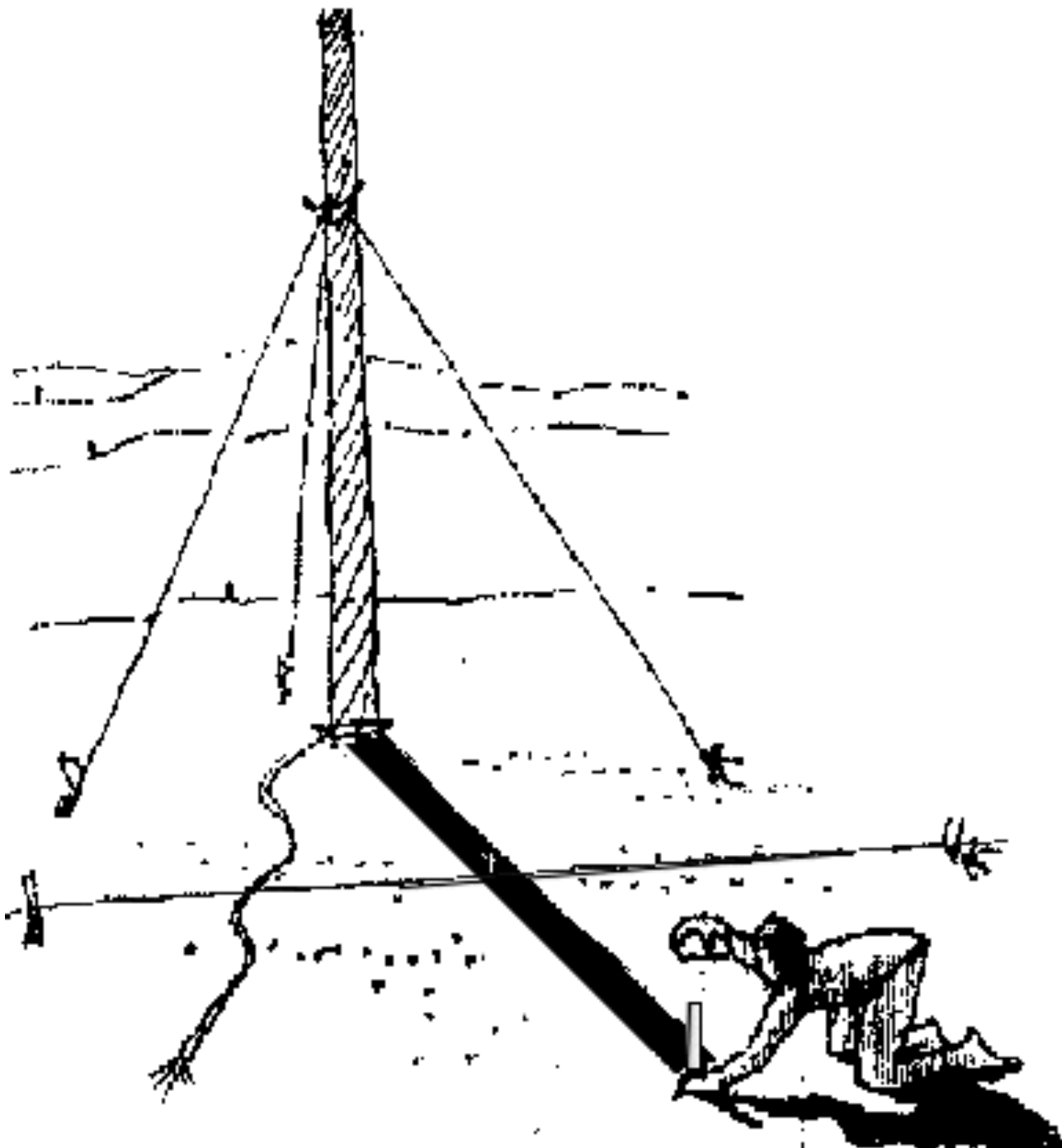
르노의 최종 결론

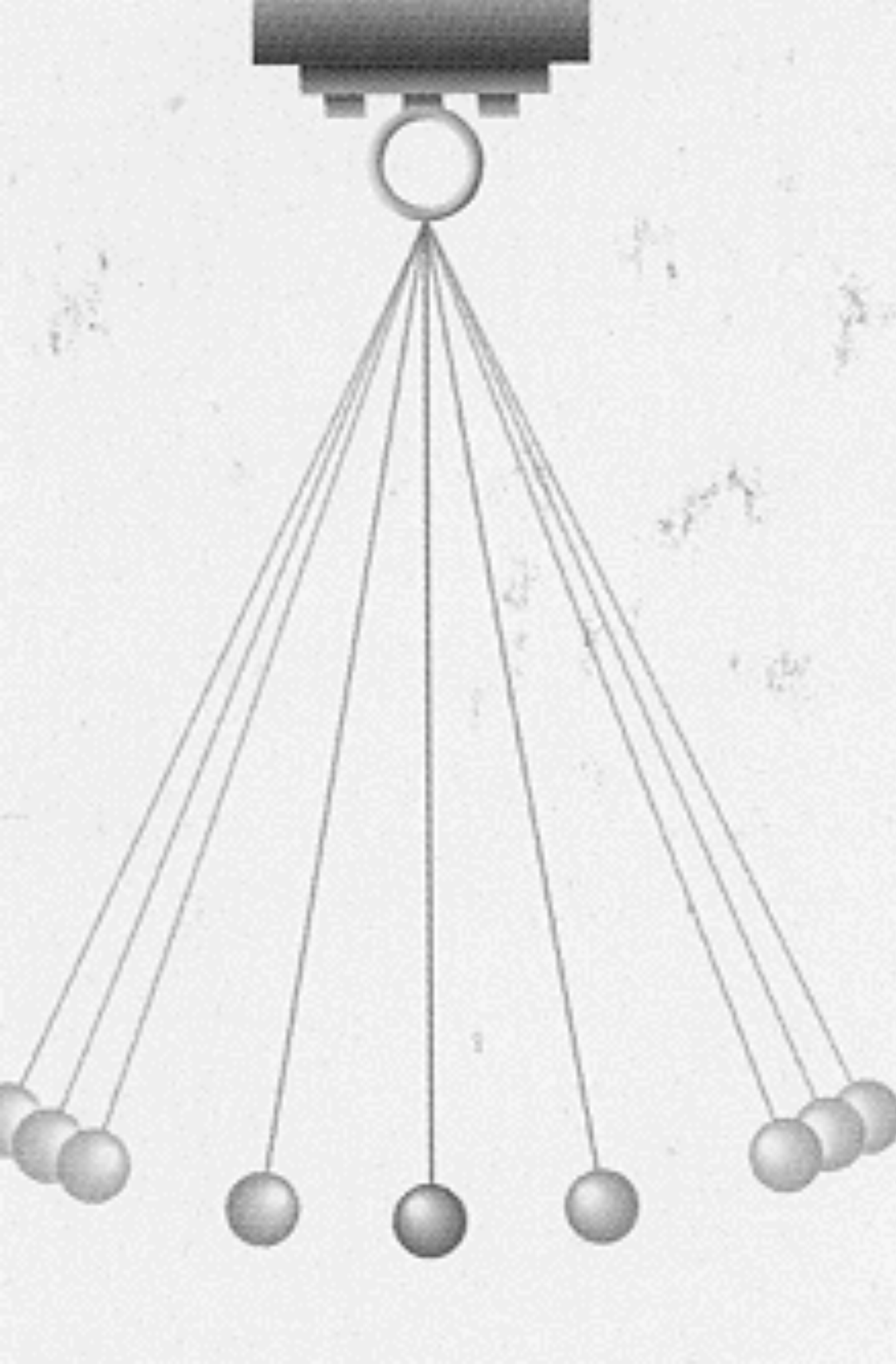
- ▶ “기체 팽창에 관해 지금까지 수용되어 온 단순한 법칙들 때문에 물리학자들은 공기 온도계를 표준 온도계로, 즉 그 눈금이 열의 양의 증가에 정말 비례하는 온도계로 간주했다. 현재 그 법칙들은 부정확한 것으로 드러났기 때문에, 공기 온도계도 다른 온도계와 마찬가지로, 그 눈금은 열의 증가에 대한 다소 복잡한 함수를 갖게 된다.”
- ▶ 공기 온도계는 분명 최선의 온도계이지만 참된 온도계는 아니다.
“그것[황산기체 온도계]의 팽창 계수는 공기 온도계에 의한 온도가 증가함에 따라 감소한다.”

시간의 측정

.....

- ▶ 하루 : 정오와 정오 사이의 간격
- ▶ 시간 : 하루를 24등분한 단위
- ▶ 물시계, 기계시계는?
 - ▶ 근대 이전까지 해시계 보완용
 - ▶ 정확성 매우 낮아 매일 보정



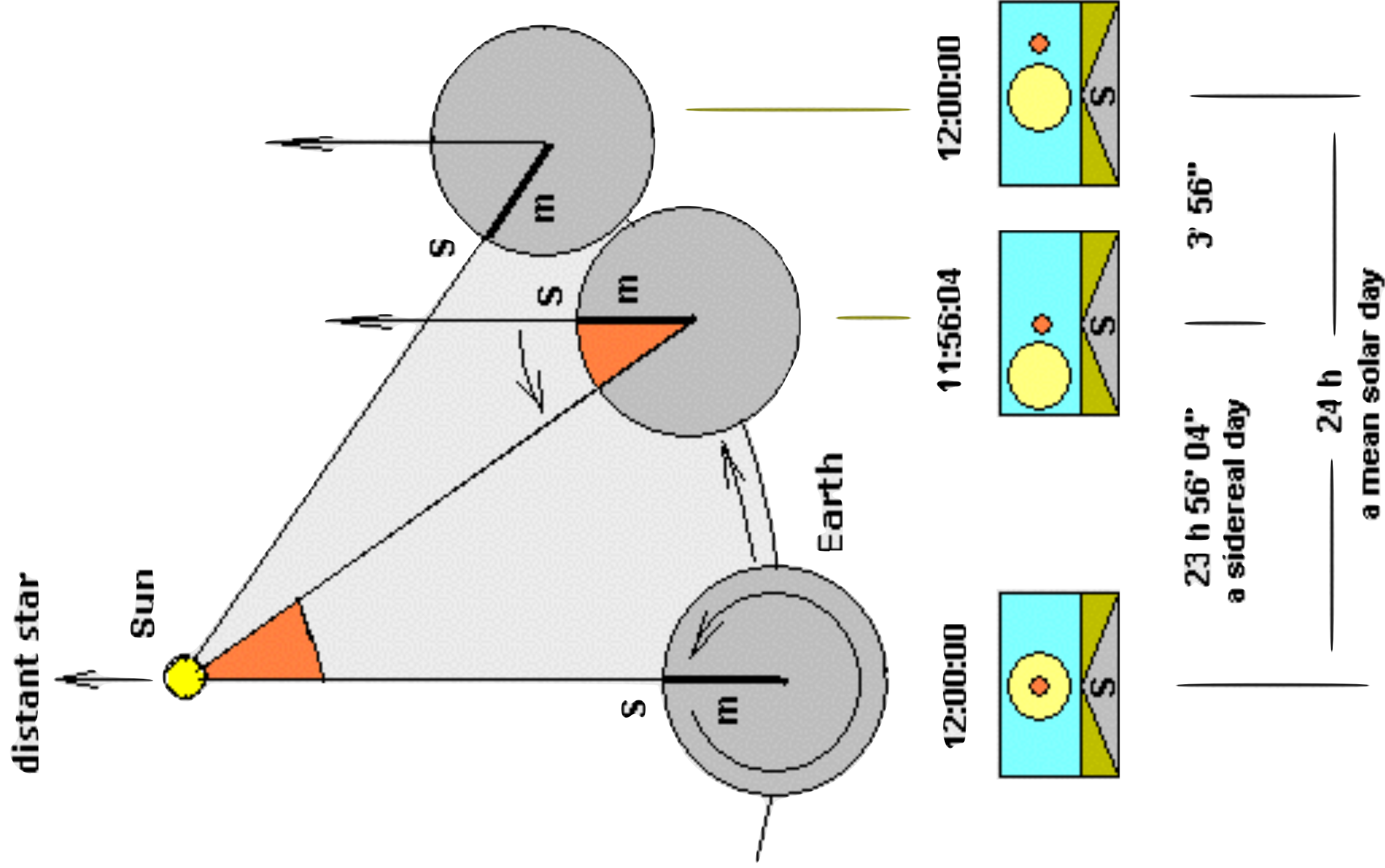


추시계 VS. 해시계

.....

- ▶ 17세기 진자의 등시성 발견
 - ▶ 실험적 근거
 - ▶ 이론적 근거
- ▶ 정확한 추시계(기계시계)의 발명
 - ▶ 이를 기준으로 별의 일주운동은 23시간 56분 4초로 일정
 - ▶ 이를 기준으로 하면 하루는 24시간 \pm 30초로 불규칙
 - ▶ 뉴턴역학에 따르면 하루의 불규칙성과 추시계의 일정성 설명 가능

하루의 길이가 변하는 이유에 대한 이론적 설명



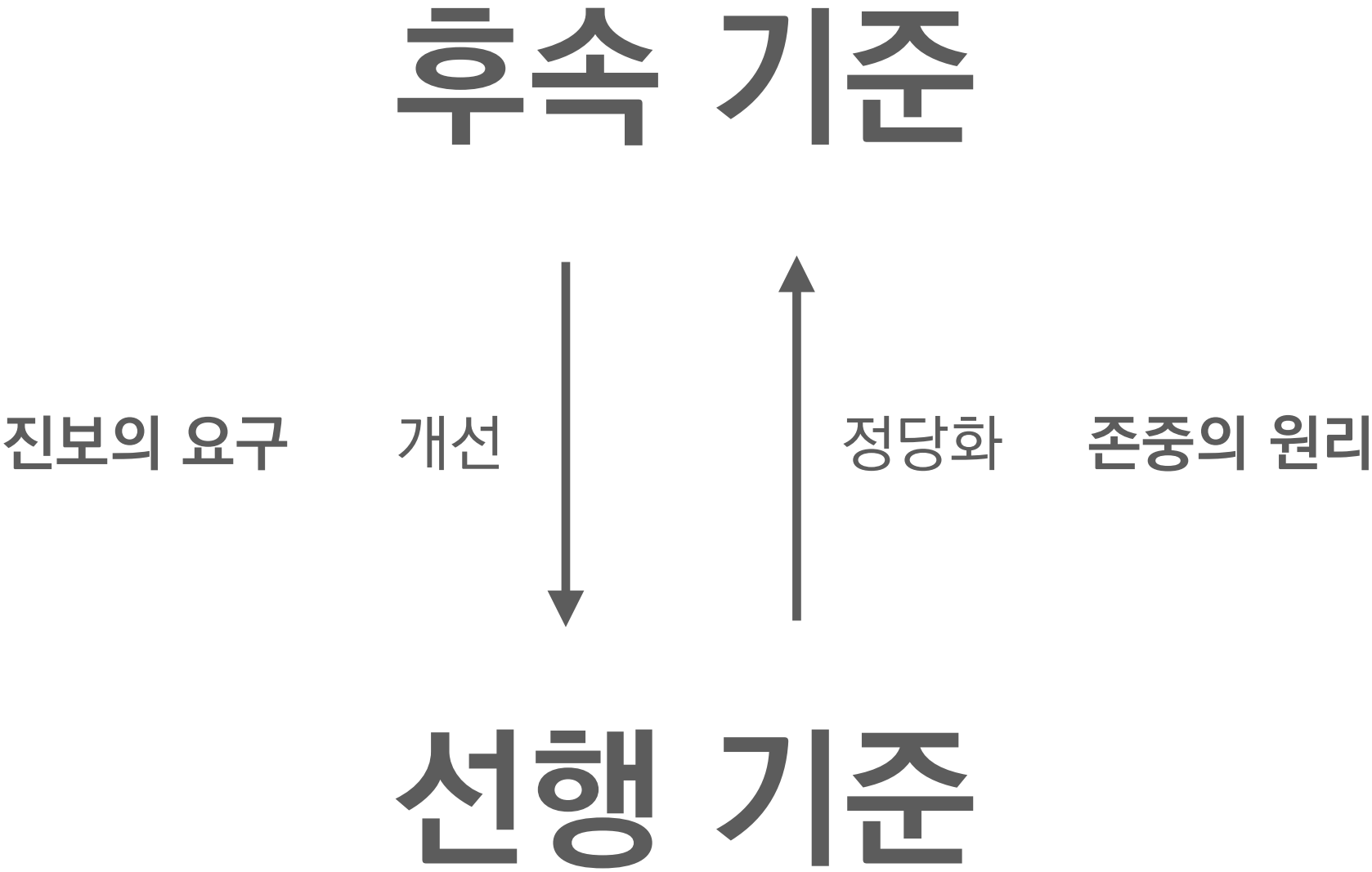


푸앵카레의 규약주의

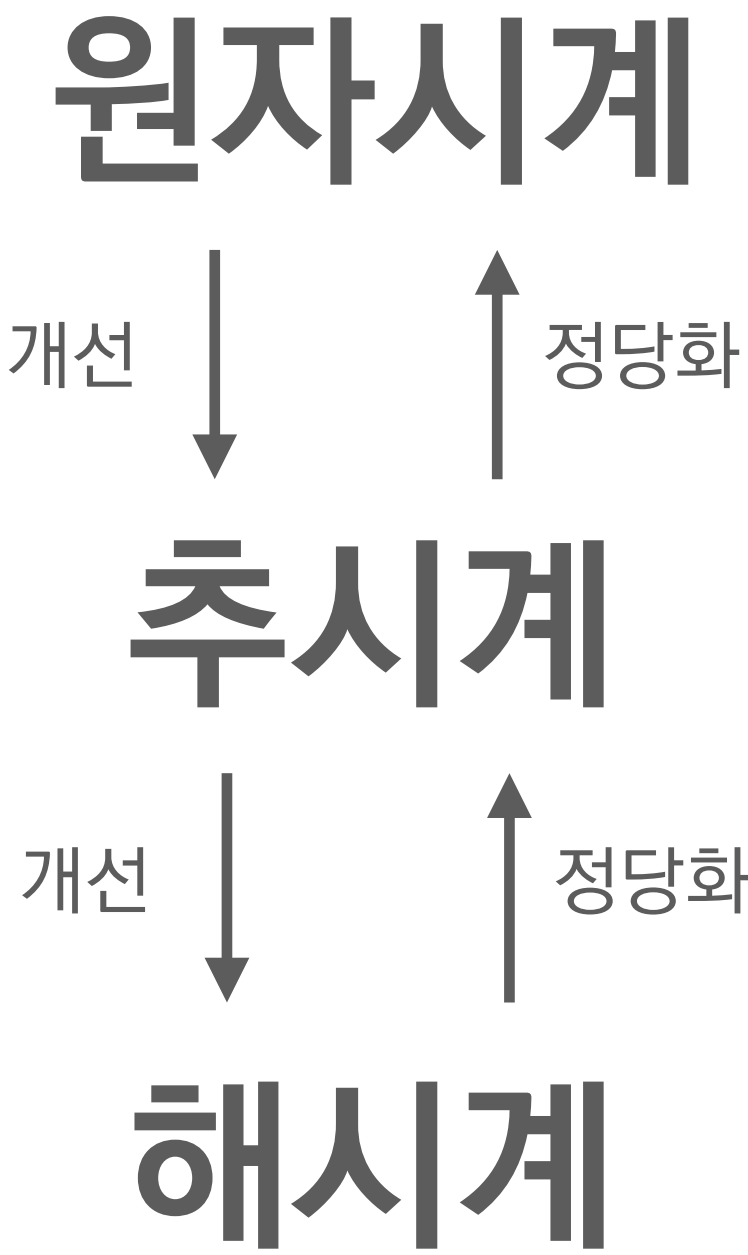
.....

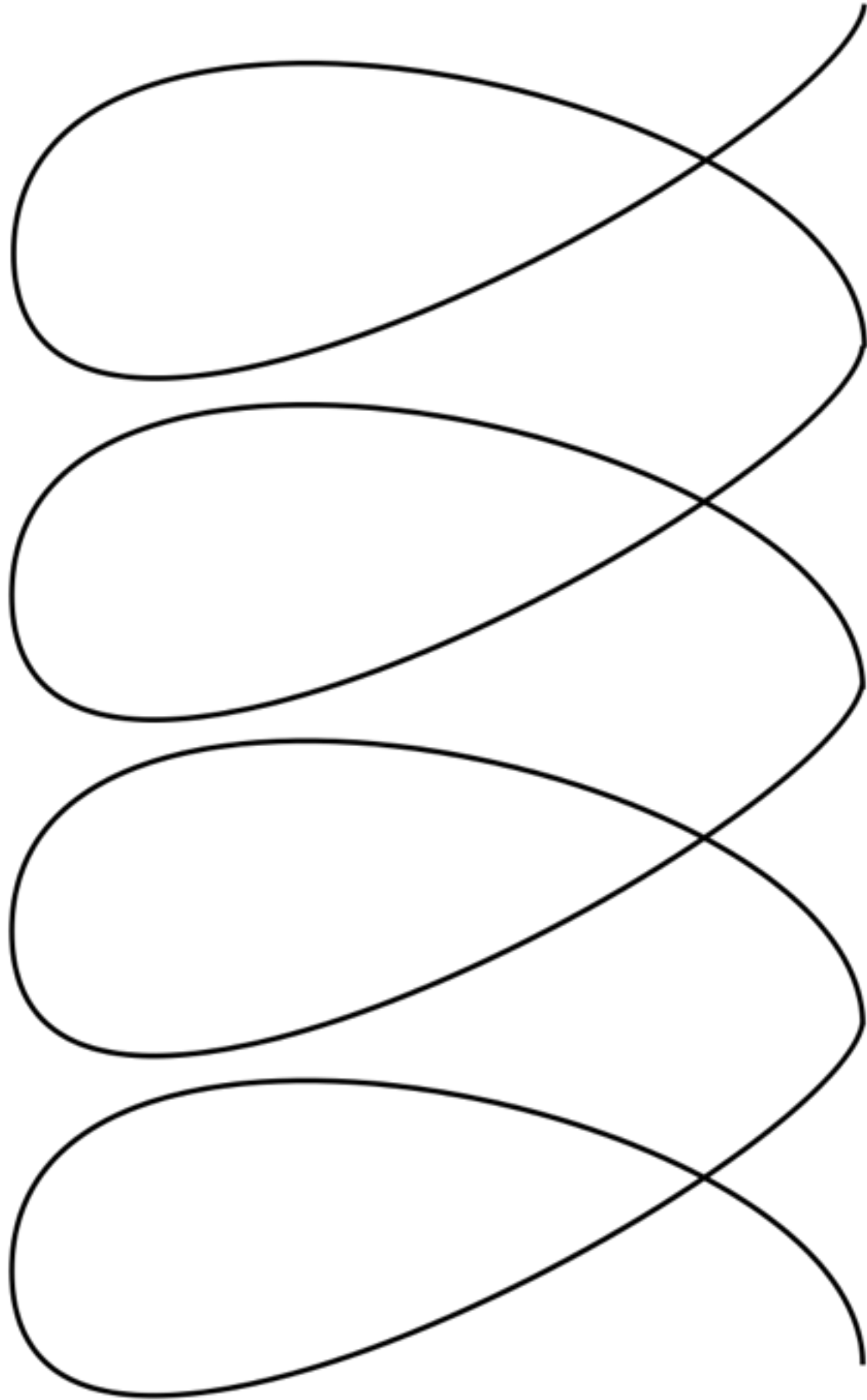
- ▶ 시간을 정의하는 기준은 여러 가지가 가능하고, 그중 무엇이 절대적으로 옳은지 말 수 없다.
- ▶ 다만 선택된 기준에 따라 자연과학의 체계는 더 복잡하고 불편해지거나 더 단순하고 간편해질 수 있다.
- ▶ 즉 기준의 선택은 진리에 의거한 판단이 아니라 실용주의적 판단!

인식적 반복



시간 측정의 진보





나선형의 진보

- ▶ 언뜻 보면 순환처럼 보이지만 원래의 자리로 돌아오진 않는다.
- ▶ 기준 없이는 과학을 시작하지 못하지만, 최초의 기준은 정당화되지 않는다.
- ▶ 신뢰할 수 없는 최초의 기준을 존중함으로써 시작된 과학은 그보다 개선된 기준을 만들어감으로써 점점 진보할 수 있다.